UCLAとの遠隔講義プロジェクトTIDEにおけるシステム構成

八木　啓介†　　亀田　能成†　　中村　素典†　　美濃　導彦†

A Novel Distance Learning System for the TIDE Project

Keisuke YAGI†, Yoshinari KAMEDA†, Motonori NAKAMURA†, and Michihiko MINOH†

あらまし　京都大学総合情報メディアセンターでは，米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）ディジタルイノベーションセンター及びNTTと協同し，京都大学 – UCLA間をリアルタイムで結ぶ遠隔講義プロジェクトTIDE（Trans-pacific Interactive Distance Education）を進めている．本論文では，このTIDEプロジェクトに用いられている遠隔講義システムについて報告する．本システムの構築にあたっては，まず講義の参加者間で交換される情報を五つに整理し，更にそれらの情報を遠隔地の講義室と交換するために必要な機能クラスを六つにまとめることにより，遠隔講義システムに必要な30の要素機能を明らかにすることから始めた．本論文で報告するシステムでは，ネットワークの帯域など様々な制約のもと，要素機能を八つのサブシステムに分散して実装している．本論文ではこのシステム構成に加えて，各サブシステムに用いられる要素技術についても報告する．

キーワード　国際遠隔講義，MPEG2 CODEC，自動撮影カメラ，電子教材，IP over ATM

1. まえがき

遠隔学習に関する研究は，AACE（Association for the Advancement of Computing in Education）が開くICCE（International Conference on Computers in Education）をはじめとして，国際的な広がりをもって積極的に行われている．そこで提案されている遠隔学習システムは，蓄積型とリアルタイム型の二つに分類できる．ここでいう蓄積型システムとは，VOD（Video On Demand）システムなど，講義の記録や資料をすべて電子化して蓄積し，学習者の要求に応じてこれを配信するものである．このような蓄積型遠隔学習システムは学習者に対して，講義室に移動する必要がないという空間的制約の緩和を実現するとともに，いつでも学習を行うことができるという時間的制約の緩和をも実現する．したがって蓄積型遠隔学習は，個人主体の遠隔学習において有効なアプローチではあるが，講師と学生あるいは学生間の議論など参加者間のインタラクションを重視する学習には適切とはいえない．これに対してリアルタイム型の遠隔学習システムは，遠隔地にある複数の講義室間でそれぞれの映像・音響を互いに伝送し合うなど，参加者間のインタラクションを実現しようするものである．本論文では，遠隔学習システムの中でもこのリアルタイム型システムを特に遠隔講義システムと呼び，そこに求められる機能・性能について議論する．

我々は，このような遠隔講義システムの評価に加え，異なる言語的・文化的背景をもつ参加者からなる遠隔講義そのものの学習効果などについて検討するため，米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）ディジタルイノベーションセンター（CDI：Center for Digital Innovation）及びNTTと協同した遠隔講義プロジェクトTIDE（Trans-pacific Interactive Distance Education）を，1999年から開始した．本論文で報告する遠隔講義システムは，このTIDEプロジェクトへの適用を目的として構築されたものである．

以下**2.**では，講義を構成する要素とそれらの関係について整理し，システムを通して講義の参加者に伝える情報について議論する．更に，それらの情報を遠隔の講義室との間で交換するために必要な機能クラスについても検討する．**3.**ではTIDEプロジェクトを例に，各情報の交換を実現する具体的な機能をどのように組み合わせてシステムを構成したのかについて報告

† 京都大学総合情報メディアセンター，京都市
Center for Information and Multimedia Studies, Kyoto University, Yoshida Nihonmatsu-cho, Sakyo-ku, Kyoto-shi, 606–8501 Japan

する．更に**4.**では，システムを構成する各サブシステムについて，その技術詳細を報告する．

2. 遠隔講義システムモデル

2.1 講 義 情 報

2.1.1 講　　義

一般に講義では，講師と学生が講義室の空間を共有し，様々なコミュニケーションを行っている．講義におけるコミュニケーションは，講師と学生の間だけでなく学生間でも行われる．そこで本論文では，講師と学生をまとめて参加者と呼ぶ．更に講義では，学生の理解を助けるため，板書が行われたり様々な教材が用いられたりする．教材には，実験器具や標本といった物理的な教材（以下，物理教材という）のほかに，プレゼンテーションファイルやHTMLファイルとして用意される電子的な教材（以下，電子教材という）が考えられる．これらのことから，講義を構成する主な要素（以下，講義要素という）を1) 参加者，2) 物理教材，3) 電子教材，4) 板書の四つにまとめる．

参加者は，発言に際して物理教材・電子教材・板書のどこに注目しているのかを明らかにするため，その一部分を指し示す．このような参加者と物理教材・電子教材・板書との関係を，指示・被指示の関係と呼ぶ．ここでは参加者による指示を，指や指示棒によって行われる直接指示と，レーザポインタなどを用いて行われる間接指示の二つに分ける．直接指示の様子は，指示されているものによらず，指示を行っている参加者を見ることで知ることができる．直接指示が行われている場合，指示している参加者と指示されている物理教材・電子教材・板書は講義室内のほぼ同じ位置にあると考えられる．したがって，直接指示によってどこが指し示されているのかは，指示されている対象によらず参加者を見ることで知ることができる．これに対して間接指示が行われている場合，指示されている物理教材・電子教材・板書を見なくてはどこが指し示されているのかを知ることができない．

2.1.2 講 義 情 報

参加者が講義室で受け取る情報（以下，講義情報という）は，一般の講義室であれば五感を通して受け取ることができる．しかしながら遠隔講義においては，触覚・嗅覚・味覚に訴える情報を遠隔の講義室間で交換することは難しい．そこで本論文では，講義情報を視覚情報と聴覚情報に限定し，それらを講義室間で交換するシステムについて検討する．

聴覚情報には，参加者の音声情報のほか，電子教材に含まれる音響データや物理教材が発する音響情報が含まれる．これらはミクシングなどにより，品質を維持しながら合成できる．そこで本論文では，音声・音響すべてをまとめて聴覚情報として扱う．

視覚情報には，各講義要素の姿形のほかに，参加者が直接指示・間接指示を行うことによって生じる情報（以下，それぞれ直接指示情報・間接指示情報という）がある．これらは，**2.1.1**で述べたように，どの講義要素を見ることで得られるのか性質が異なる．この性質の違いから，直接指示情報は指示を行っている参加者に付随するものと考えられ，逆に間接指示情報は指示されている物理教材・電子教材・板書，いずれの場合も講義要素そのものの視覚情報に付随するものと考えられる．そこで本論文では，各講義要素を見ることで得られる情報をそれぞれ，参加者情報・物理教材情報・電子教材情報・板書情報と呼ぶ．以上のことから，遠隔講義システムで扱う講義情報は以下の五つにまとめられる．

1　聴覚情報	2　参加者情報
3　物理教材情報	4　電子教材情報
5　板書情報	

2.2 機能クラス

遠隔講義は，先に述べた講義情報が遠隔地の講義室間で交換されることによって成り立つ．そこで本論文では，それを実現するために遠隔講義システムが備えるべき機能のクラスとして，以下の六つを考える．

1　取得	2　符号化	3　送信
4　受信	5　復号化	6　提示

これらの機能を備えた遠隔講義システムは，講義情報を「取得」し，得られた信号をデータに「符号化」したのち，遠隔の講義室へ向けて「送信」する．また送信されてきたデータを「受信」したシステムはこれを「復号化」し，参加者に対して「提示」する．以上のことから遠隔講義システムには，五つの講義情報それぞれについてこれを交換するのに必要な六つの機能が実装されている必要がある．併せて30の機能をどのように実装するかを決定することが遠隔講義システムの設計だといえる．**3.**ではTIDEプロジェクトを例に，具体的な設計について検討する．

3. TIDE におけるシステム構成

3.1 概　　要

TIDE プロジェクトにおける遠隔講義システムの機能構成を図 1 に示す．図中の各ブロックはサブシステムを表し，それらが組み合わされた直方体全体が遠隔講義システムを表している．左右の図は，上面に対して直交する軸を中心に 180 度回転した一つの直方体の裏と表を表している．

この遠隔講義システムは以下の八つのサブシステムからなり，直方体の上面に割り当てられた講義情報と側面に割り当てられた機能クラスから決まる個々の機能がそれぞれのサブシステムに実装される．例えば音響サブシステムには，聴覚情報の取得機能と提示機能が実装される．以下この章では，各サブシステムに実装される機能とその根拠について述べる．

（1） 音響サブシステム
（2） カメラサブシステム
（3） コーデックサブシステム
（4） 品質保証ネットワークサブシステム
（5） 電子教材同期サブシステム
（6） 電子白板サブシステム
（7） プロジェクションサブシステム
（8） インターネット

3.2 音響サブシステム

音響サブシステムには，聴覚情報の取得機能と提示機能を実装する．参加者の音声や物理教材が発する音響など講義室空間からの取得にはマイクロホンを用い，その他の音響信号はマイクロホンから得られる信号にミキシングすることでこれを取得する．これに対して，遠隔地から送られてくる聴覚情報の提示にはスピーカを用いる．このとき提示される聴覚信号は，マイクロホンによって再び取得されて音響エコーを生じる．遠隔講義に支障をきたすこの音響エコーを除去するためには，提示された情報をもとに取得された情報を調整する必要がある．そこで，聴覚情報の取得機能と提示機能は一つの音響サブシステムに実装される．

3.3 カメラサブシステム

カメラサブシステムには，参加者情報と物理教材情報の取得機能を実装する．カメラから出力される映像信号を伝送するためには，広帯域ネットワークを必要とするなど高いコストがかかる．したがってカメラサブシステムによって取得する講義情報は，映像信号としてしか取得することができない講義情報に限ることが望ましい．そこでカメラサブシステムには，参加者情報と物理教材情報の取得機能のみを実装する．

3.4 コーデックサブシステム

カメラサブシステムから出力される映像信号と音響サブシステムから出力される音響信号は，発言している参加者の口の動きに音声が一致するよう，同期して符号化・復号化される必要がある．そこでコーデックサブシステムにはそれらを実現するため，聴覚情報・参加者情報・物理教材情報のそれぞれについて符号化・復号化する機能，併せて六つの機能を実装する．

3.5 品質保証ネットワークサブシステム

品質保証ネットワークサブシステムには，コーデッ

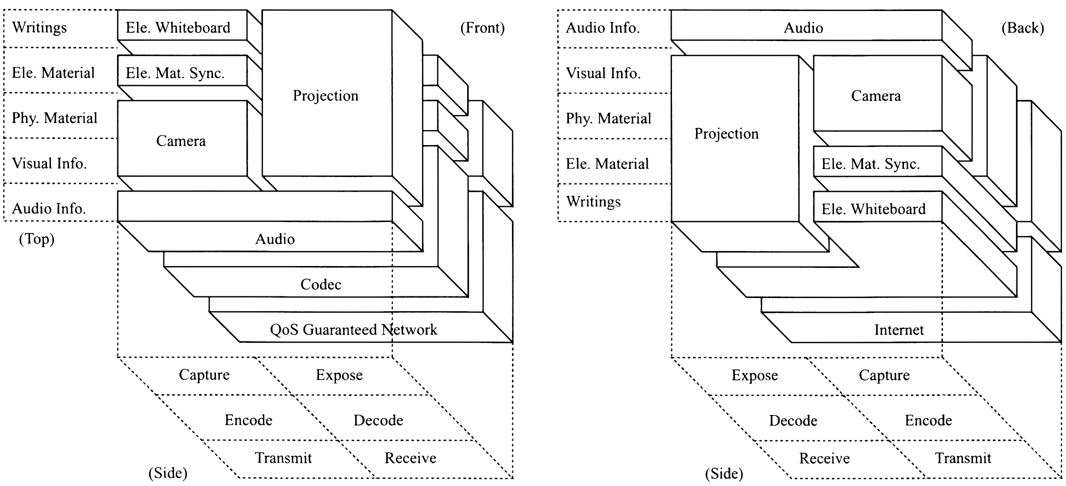


図 1　遠隔講義システムの機能構成
Fig. 1　Functional structure of our distance lecturing system.

クサブシステムから出力される符号化データを送信・受信するために必要な機能を実装する．すなわち，聴覚情報・参加者情報・物理教材情報のそれぞれを送信・受信する機能，併せて六つの機能を実装する．

3.6 電子教材同期サブシステム

電子教材はデータファイルとして既に計算機上に存在することから，このファイルデータを講義室間で共有することができれば，電子教材情報を映像信号として取得する必要がない．共有される電子教材は参加者の説明に合わせてすべての講義室で同期して操作される必要がある．そこで我々は，ファイルデータや操作イベントを扱う電子教材情報の取得・符号化・復号化機能を一つのサブシステムに実装する．

3.7 電子白板サブシステム

電子白板を用いることにより，板書は計算機上のベクトルデータとして取得できる．このデータを電子教材と同様に講義室間で共有することができれば，板書を映像信号として取得する必要がない．そこで電子白板サブシステムには，ベクトルデータを扱う板書情報の取得・符号化・復号化機能をまとめて一つのサブシステムに実装する．

3.8 プロジェクションサブシステム

すべての視覚情報は，カメラサブシステムから出力される映像信号であるか電子教材同期サブシステムや電子白板サブシステムから出力される計算機画面上の表示であるかによらず，プロジェクタを用いて講義室内に提示できる．そこで我々は，参加者情報・物理教材情報・電子教材情報・板書情報のすべてを提示する機能をプロジェクションサブシステムに実装する．

3.9 インターネット

電子教材同期サブシステム・電子白板サブシステムのデータを送信・受信にはインターネットを用いる．これは，両システムが扱う電子教材情報や板書情報のデータ量が映像信号を符号化して得られるデータに比べて少ないため，広帯域・定ビットレートのネットワークを必要としないことによる．そこで我々は既存のネットワークインフラとして利用可能なインターネットを，電子教材情報・板書情報を送信・受信する機能が実装されたサブシステムとして利用する．

4. 各サブシステムの技術詳細

4.1 音響サブシステム

音響サブシステムの設計にあたって留意すべき点は，コーデックサブシステムに対する入力信号と出力信号の系統を分離することにより，トラブルにつながる誤操作を排除することである．これまで実現されてきた遠隔講義システムでは，機器導入コスト低減のためすべての音響信号を一つのミクサで集中制御していることが多い．これらのシステムでは，遠隔地へ送信する音響信号に受信した音響信号をミクシングして送り返したり，音響エコーの除去に用いるエコーキャンセラの参照信号に受信信号以外の音響信号をミクシングしてエコーが除去できなくなるなど，講義に支障をきたす誤操作を行う可能性が高い．そこで我々は，ミクサを複数台用いて受信信号と送信信号の系統を分離し，誤操作に対して頑健なシステムを構築している．

4.2 カメラサブシステム

TIDE プロジェクトに適用している遠隔講義システムでは，我々がこれまで行ってきた講義の自動アーカイブに関する研究 [9] の成果である参加者追跡カメラシステム [12] をサブシステムとして導入している．このサブシステムは，計測用カメラと撮影用カメラ 4 台ずつに加えて，計測用カメラの映像を実時間処理して撮影用カメラを制御する計算機からなる．

カメラサブシステムは，動いている参加者を自動的に撮影するよう設計されている．これは，発言中の参加者の映像を伝送することが有用であるという仮定と，発言中の参加者はジェスチャや指示動作などの動きを示しているという仮定による．したがって発言しようとする参加者は，挙手などの動きを示すことによって自分が撮影・伝送されるよう意思表示ができる．このサブシステムにおいて自動撮影を実現している要素技術の詳細については，文献 [12] を参照されたい．

4.3 コーデックサブシステム

遠隔講義に適用されるコーデックサブシステムを評価する重要な基準の一つは，信号を符号化・復号化することによって生じる遅延がいかに小さいかということである．遠隔講義において参加者が円滑にインタラクションを行うためには，講義室間での遅延がおよそ 500 ms 以下でなくてはならないことが経験的に知られている．この遅延にはコーデックによる遅延に加えて，ネットワークでの伝送遅延が含まれる．**4.4** で述べる品質保証ネットワークサブシステムはおよそ 200 ms の伝送遅延をもつことから，コーデックに許される遅延は 300 ms 以下である．我々は，この圧縮率と遅延のトレードオフを評価基準としていくつかのコーデックを比較検討し [10]，圧縮率 3 Mbit/s で 300 ms の遅延を実現する MPEG2 コーデックを選定した．

4.4 品質保証ネットワークサブシステム

4.5 で述べる電子教材同期システムや **4.6** で述べる電子白板システムではネットワークに品質保証が求められないのに対し，コーデックサブシステムからのデータを伝送するネットワークには品質保証が求められる．これは，コーデックに入力される映像・音響信号にリアルタイム性が要求されることと，データの欠損や到着間隔の乱れによってコーデックがデータを復号化できなくなることによる．

我々は品質保証ネットワークを実現するため，NTT が実験用イントラネットワークとして整備している ATM ネットワークである GEMnet [1] を利用している．図 2 に示すように GEMnet は，その一端を米国西海岸のクパチーノにある NTT アメリカまで延ばしている．そこで TIDE プロジェクトでは，京阪奈にある NTT コミュニケーション・サイエンス研究所と京都大学を結び，京都–クパチーノ間に帯域 5 Mbit/s の双方向 PVC（Permanent Virtural Channel）を予約することでネットワークの品質を保証している．また TIDE プロジェクトでは，IP レイヤで静的経路を設定して優先づけられたデータ伝送の可用性についても検討するため，米国内の接続を Internet2 によって行っている．

4.5 電子教材同期サブシステム

TIDE プロジェクトでは電子教材同期サブシステムとして，Meeting Perfe・IMED・Netscape 3・RAdmin といったソフトウェアを比較検討した．Meeting Perfe は NTT-AT 社製のグループウェアで，Windows PC 間で，サーバを介して電子教材を同期操作することを目的としている [4]．IMED（Interactive Multimedia Education at a Distance）は，UCLA CDI が開発している学習支援システムで，WWW を通して電子教材を同期操作できるほか，チャットなど講義とは別に参加者が対話を行えるような機能が実装されている [8]．Netscape 3 は WWW ブラウザではあるが，このバージョンには H.323 規格に準拠した Conference と呼ばれる音声対話ツールが添付されており，Collaborative Browsing 機能と呼ばれるページ同期機能が実装されている [5]．RAdmin は Windows 上で動作するシェアウェアで，RAdmin サービスが起動している PC を遠隔のクライアントから操作できる [6]．

比較検討基準の一つは，電子教材の事前配布可能性である．特にムービーファイルを利用する場合，事前配布を行っておかなければネットワークのボトルネックからコマ落ちなどの品質低下が生じる．Meeting Perfe は会議参加と同時に電子教材を自動的に転送できるのに対し，IMED・Netscape 3 では ftp など他の手段を用いて電子教材を転送する必要がある．RAdmin では，サービスが起動している PC のスクリーンダンプを伝送することによって電子教材を同期させることから，事前配布は原理的に不可能である．

次に電子教材の同期操作・同期指示について比較すると，Meeting Perfe では各クライアントがすべての操作・指示イベントをサーバに伝送しており，サーバからイベントを配送することでスクロールなどを含めたあらゆる同期操作・同期指示を実現している．IMED・Netscape 3 では，マウスクリックに合わせて URL を伝送することによって同期を実現する．したがってスクロールなど，OS レベルのイベント情報を必要とする操作を同期させることは難しい．RAdmin では，クライアント側のイベントに基づいてサーバ上の電子教材が操作される．ただし，このときクライアントにサーバのスクリーンダンプを伝送するため，秒単位の大きな遅延が生じることは避けられない．

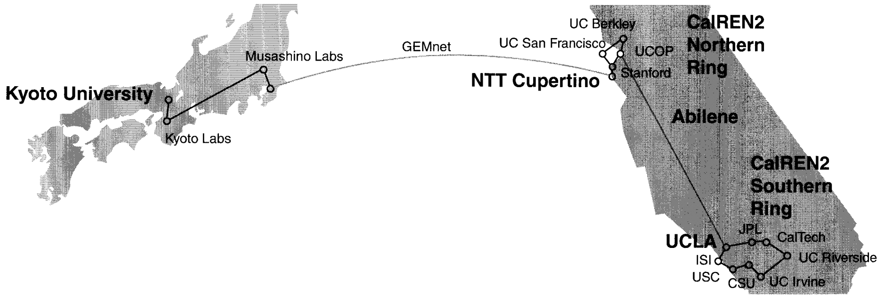


図 2　品質保証ネットワークサブシステムの構成
Fig. 2　Quality of Service guaranteed network subsystem.

表1　電子教材同期を目的とするソフトウェアの機能比較
Table 1　Functional differences between softwares which enable sychronized control of teaching material.

	Meeting Perfe	IMED	Netscape 3	RAdmin
事前配布	○	△	△	×
同期操作	○	△	△	△
同期指示	○	×	×	○
実現性	×	○	○	○

最後に電子教材情報の伝送に用いるプロトコルを比較し，京都大学–UCLA 間での実現可能性を検討する．Meeting Perfe では電子教材の配布に Windows のファイル共有機能を利用している．これをインターネットを介して利用することは，セキュリティ上の問題から難しい．IMED・Netscape・RAdmin では，特定のポートを指定して TCP/IP 上でデータ伝送を行っている．これは京都大学–UCLA 間に存在するファイアウォールが必要なポートの接続を禁止しない限り，比較的容易に実現可能な環境といえる．

以上のことから，電子教材同期を目的とする各ソフトウェアの機能は，表 1 のようにまとめられる．この表からもわかるように，いずれのソフトウェアも遠隔講義に適用するには問題を抱えている．現在は同期指示を重視し，RAdmin を主に利用している．

4.6　電子白板サブシステム

我々が導入している電子白板は上部にレーザスキャナが内蔵されており，専用ホワイトボードマーカの先端部にあるカラーバーを読み取ることによって，その位置情報と色情報を取得できる [7]．取得された板書情報は，シリアル接続された Windows PC にイベントとして転送され，電子白板に添付されている専用ブラウザによって PC 画面上に表示される．この専用ブラウザは，他の Windows PC 上で動作しているブラウザと peer-to-peer で通信を行い，自他両方の板書を画面上に表示できる．

このブラウザ間通信はインターネットを経由して行われており，経路は品質保証されていなくても安定動作することが確認された．特にコーデックサブシステムや品質保証ネットワークサブシステムに障害が発生した場合でも電子白板によって筆談を行うことができ，運用管理の面からも有用性が確認されている．

4.7　プロジェクションサブシステム

プロジェクションサブシステム設計のポイントは，円滑なインタラクションが行えるよう参加者間でアイキャッチをとれる位置に映像提示プロジェクタを配置することである．一般に講義室では，講師と学生が対向して位置し，更に学生に対向する位置にプロジェクタなどが設置されることが多い．このようなレイアウトをとる場合，プロジェクタに提示される遠隔地の学生と講義室の学生が対向する形となり，学生間のアイキャッチは比較的容易にとることができる．これに対して講師は，遠隔地か講義室のどちらか一方の学生としかアイキャッチをとることができない．

このような状況を改善するため我々は，講師卓上にモニタを設置したり講義室の最前列に小型のスクリーンを用意して遠隔地の映像をプロジェクションするなど，いくつかのレイアウトを検討している．しかしながら，モニタに提示される遠隔地の学生は講義室の学生に比べて小さいために臨場感がないであるとか，座席に設けられるスクリーンの位置とカメラ位置の高さの違いからアイキャッチがとれないといった理由から，満足のいく結果は得られていない．現在はこれらの問題を解決できるようなプロジェクタの規模やレイアウトについて検討を進めている．

5.　システムの評価

本論文で報告した遠隔講義システムは，京都大学と UCLA の間で 1999 年 10 月から 12 月にかけて行われた「物理学入門」と「宇宙科学」の遠隔講義に用いられた.「物理学入門」では週 2 回 UCLA の教授が講義を行い,「宇宙科学」では週 1 回 UCLA と京都の教授が交代で講義を行った．講義資料は図版・ムービーを含む HTML ファイルとしてあらかじめ用意され，補足として電子白板サブシステムが用いられた．プロジェクションサブシステムでは，遠隔地で取得された映像を講義資料とともに提示した．また質疑応答を積極的に行えるよう，音響サブシステムでは講師用マイクのほかに学生用マイクを複数導入した.「物理学入門」の学生は，UCLA 側 21 名，京都側 17 名,「宇宙科学」の学生は，UCLA 側 62 名，京都側 44 名であった．

これらの講義に参加した学生に対して質問紙によるアンケート調査を行うことにより，システムの評価を行った [11]．設問は表 2 に示す 24 項目で，すべて 5 段階評価による回答を求めた．調査は講義の中間と期末,「宇宙科学」では 6 回目と 10 回目の講義終了後,「物理学入門」では 8 回目と 16 回目の講義終了後にそれぞれ質問紙を配布した．回答は WWW を用いて行うものとし，質問紙の配布から 10 日以内の回答を有効回答とした．有効回答数は参加者の 62%から得られ

表 2 主成分分析の結果
Table 2 Results of principal component analysis.

	設問	因子負荷量				
		第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分	第 5 主成分
1	声の大きさは適切だった	0.06	0.38	−0.13	0.05	−0.41
2	声のとぎれが気になった	−0.25	−0.13	−0.01	−0.02	0.80
3	UCLA（京大）との対話の遅れが気になった	−0.10	0.10	−0.39	−0.13	0.59
4	講義画面は見やすかった	0.32	0.22	0.60	−0.01	−0.12
5	講義画面の切換は適切だった	0.25	−0.03	0.79	−0.04	−0.17
6	講義画面の乱れが気になった	0.23	−0.10	−0.19	−0.02	0.60
7	見たい映像を見ることができた	0.38	0.31	0.56	0.06	0.19
8	映像に飽きた	0.00	−0.29	−0.11	−0.6	0.10
9	講師の姿がよく見えた	0.11	0.20	0.38	0.38	−0.04
10	UCLA（京大）の講師に対してのカメラ追跡は適切だった	−0.12	0.34	0.55	0.07	−0.17
11	画面上での WWW 教材の文字は見やすかった	0.09	0.74	0.29	0.09	−0.14
12	画面上での WWW 教材の画像や映像は見やすかった	−0.01	0.72	0.22	0.16	−0.12
13	WWW 教材の内容は適切だった	0.07	0.62	0.22	0.08	0.02
14	WWW 教材の画面切換は適切だった	−0.07	0.18	0.61	0.08	−0.05
15	質問の返答はしやすかった	0.88	0.07	0.11	0.04	0.00
16	質問がしやすかった	0.89	0	0.01	0.04	0.06
17	教官と十分なコミュニケーションがとれる	0.78	0.04	0.17	0.11	−0.16
18	学生と十分なコミュニケーションがとれる	0.28	−0.27	0.14	0.46	−0.08
19	UCLA（京大）の講師の様子がわかった	0.05	−0.23	0.00	0.74	0.05
20	授業を受けている感じがした	0.03	0.25	−0.11	0.70	−0.02
21	授業が理解できた	0.54	0.51	0.13	0.19	−0.11
24	今後，このような遠隔講義を受講したいと思った	0.03	0.40	0.09	0.73	−0.08
	寄与率	13.70%	12.20%	11.90%	11.20%	7.90%
					合計	57.0%

た．項目ごとにすべての回答を平均した結果，いずれの項目も 5 段階評価で 4 点以上の得点を得た．このことから，時期・大学を問わず，本システムは全般的に良い評価を受けているといえる．

我々はこれらの設問をもとに，遠隔講義に対する満足度に影響を与える因子を明らかにするため，システムや授業内容の満足度についての設問を除いた 22 項目について主成分分析を行った．その結果得られた第 1 主成分から第 5 主成分までの因子負荷量と寄与率を表 2 に示す．それぞれの設問についてこの因子負荷量が最大となる主成分に設問を分類すると表 3 のようになる．各主成分ごとの設問は，因子負荷量が大きいものから順に並んでいる．これらの設問からそれぞれの主成分を因子として新たに名づける．

遠隔講義に対する総合満足度をシステムと授業内容に対する満足度の平均と定義し，各因子が総合満足度に与える影響を評価するため，因子を規定する設問に対する回答を平均した値で総合満足度を回帰予測した．その結果得られた回帰係数を表 4 に示す．表中，括弧で囲まれた回帰係数は，結果が危険率 5%を超えていることを意味している．中間アンケートの結果では，WWW 教材に対する満足度の危険率が 5%を超えていることから，それ以外のシステムに関する評価が総合満足度に強く影響をもつことがわかる．これに対して期末アンケートの結果では，逆に教材に対する満足度が総合満足度に影響をもち，システムに関する評価の影響が弱くなっていることがわかる．このことから，本論文で報告した遠隔講義システムは，学生が遠隔講

表 3 設問の分類と因子
Table 3 Categorization of the questionnaires and factors.

主成分	設問番号	因子
第 1	16 15 17 21	対話の容易さ
第 2	11 12 13	WWW 教材に対する満足度
第 3	5 14 4 7 10	システム運用の適切さ
第 4	19 24 20 8 18 9	臨場感
第 5	2 6 3 1	システムの不安定さ

表 4 講義への満足度に対する回帰係数
Table 4 Regression coefficients of the questionnaire survey.

因子	中間	期末
対話の容易さ	0.322	0.382
WWW 教材に対する満足度	(0.107)	0.414
システム運用の適切さ	0.304	(0.168)
臨場感	0.561	0.637
システムの不安定さ	−0.257	(−0.143)

義そのものに慣れるにつれてその存在を意識せずにすむだけの性能を備えているといえる．

6. む す び

本論文ではまず，講義の参加者間で交換される情報とその交換に必要な機能について検討し，遠隔講義システムに求められる要素機能を明らかにした．更に，京都大学と UCLA・NTT が協同して行っている遠隔講義プロジェクト TIDE において，それらの要素機能が八つのサブシステムに実装されてシステム全体を構成していることを例示した．また各サブシステムの設計にあたって留意した技術的要素について報告した．

またこのシステムを実際の遠隔講義に適用し，アンケート調査によってその有効性を評価した．回答を回帰分析した結果，報告したシステムは学生にその存在を意識させずにすむだけの性能を備えていることがわかった．今後は各サブシステム実装上の課題について更に検討し，より円滑なインタラクションを実現する遠隔講義システムに向けて研究を進める．

謝辞　GEMnet などの利用に御尽力下さいました NTT の皆様に感謝致します．また UCLA 側のリーダとしてプロジェクト推進に重要な役割を果たされた Maha Ashour-Abdalla 教授にも謝意を表します．

文　　献

[1] 水川　真，川原崎雅敏，山内規義，山下博之，“GEMnet 利用のグローバル共同研究・実験，” NTT 技術ジャーナル，pp.24–27, Feb. 2000.

[2] 浅見　徹，“次世代インターネットバックボーン計画，” 情報処理，vol.40, no.7, pp.708–715, July 1999.

[3] Heather BOYLES, “The state of Internet2,” Proc. APAN’2000 Bijing, pp.1–9, Aug. 2000.

[4] 横森正利，上野和彦，角　隆一，西山　茂，“プレゼンテーション型新世代会議支援システムの実装と評価，” NTT R&D, vol.48, no.6, 1999.

[5] A.H. Johnson, “Netscape conference 4.0,” Windows Magazine, Oct. 1997.

[6] “RAdmin,” ZDnet Review, Aug. 1999.

[7] ソフトボード取扱説明書，東芝パソコンシステム，2000.

[8] Maha Ashour-Abdalla, “Overview of MEPI and IMED,” UNESCO Workshop on Tools and Process for Creating Multimedia Courseware, Nov. 1998.

[9] 美濃導彦，亀田能成，池田克夫，河原達也，飯塚重喜，辻本雅彦，“講義の自動アーカイビングシステムの構築，” 第 58 回情処全大，4U-01, 1999.

[10] ハードウェア・コーデック・ワークショップ報告書，ITRC Technical Report, no.6, ISSN: 1343-3083.

[11] 村上正行，八木啓介，角所　考，美濃導彦，“日米学習者による遠隔講義システムの評価，” 信学技報，ET99-104, March 2000.

[12] Y. Kameda, H. Miyazaki, and M. Minoh, “A live video imaging for multiple users,” Proc. ICMCS’99, vol.2, pp.897–902, 1999.

（平成 12 年 8 月 30 日受付，12 月 22 日再受付）



八木　啓介

平 3 京大・工・情報卒．平 6 北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科了．平 9 京大大学院博士課程学修退学．同年同大総合情報メディアセンター助手．遠隔講義システムの構築・運用に従事．情報処理学会，人工知能学会，日本ソフトウェア科学会各会員．



亀田　能成　（正員）

平 3 京大・工・情報卒．平 8 同大大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程単位取得退学．平 10 より京都大学大総合情報メディアセンター助手．画像処理・理解，人体を対象とするモデルベースドビジョン，分散協調視覚，マルチメディアの研究に従事．工博．IEEE，情報処理学会各会員．



中村　素典

平 6 京大大学院工学研究科博士後期課程単位取得退学．立命館大学理工学部情報学科助手，京都大学経済学部助教授を経て，現在，同大総合情報メディアセンター助教授．ネットワープロトコル，コンピュータネットワークを利用したコミュニケーション環境などに関する研究に従事．工博．情報処理学会，日本ソフトウェア科学会，Internet Society 各会員．



美濃　導彦　（正員）

昭 53 京大・工・情報卒．昭 58 同大大学院博士課程了．同年工学部助手．昭 62〜63 マサチューセッツ州立大学客員研究員．平 1 京都大学工学部附属高度情報開発実験施設助教授．平 7 同教授．平 9 同大総合情報メディアセンター教授．画像処理，人工知能，知的コミュニケーション関係の研究に従事．工博．IEEE，ACM，情報処理学会，画像電子学会，日本ロボット学会各会員．